

## Sifat Kekuatan Tarik dari Sambungan Tunggal Komposit Anyaman Serat Jute-*Polypropylene* dengan Metode *Resistance Welding*

Ni Wayan Sugiarti, Mathias Noviantoro, I Gusti Ketut Sukadana, I Dewa Gede Ary Subagia\*

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana,  
Kampus Bukit Jimbaran-Badung, Bali, Indonesia 80361

### Abstrak

Makalah ini menyampaikan hasil penelitian kekuatan tarik sambungan *resistance welding* (RW) dari komposit berbasis anyaman serat jute matrik *polypropylene* (JFRP). Metode RW dilakukan menggunakan pengaliran arus listrik pada kawat nikelin. Pada proses pengelasan untuk kawat nikelin adalah divariasikan yaitu ukuran diameter 0,3 mm dan 0,5 mm. Tujuan penelitian untuk menyelidiki kekuatan sambungan menggunakan metode RW menurut variasi diameter kawat nikelin. Pada pengujian masing-masing sampel diujikan sebanyak 5 kali pengulangan yang didasarkan pada standar ASTM D 638. Pengujian tarik dilakukan pada *Universal Testing Machine* (UTM) dengan *cross head speed* 3 mm/min, dan *load cell* 5 kN. Hasil penelitian menunjukkan bahwa JFRP dalam sambungan lapisan tunggal yang diikat dengan kawat nikelin berdiameter 0,5mm memiliki kekuatan tarik tertinggi dibandingkan dengan kawat nikelin berdiameter 0,3mm masing-masing adalah  $213,58^{\pm 0,05}$  MPa dan  $210,34^{\pm 0,05}$  MPa. Sementara itu, *Modulus Young* dari sambungan lapisan tunggal JFRP dengan diameter kawat nikelin berdiameter 0,3 mm memiliki nilai lebih tinggi dari kawat nikelin dengan diameter 0,5mm masing-masing adalah  $8,16^{\pm 0,05}$  GPa dan  $8,44^{\pm 0,05}$  GPa. Kemudian, regangan patah dari JFRP memiliki nilai yang sama 4% untuk kedua model sambungan. Kesimpulan menunjukkan bahwa pengelasan resistensi cukup menjanjikan untuk mengikat komposit termoplastik. Selain itu, diameter kawat nikelin adalah faktor penting yang mempengaruhi sifat mekanis sambungan.

**Kata kunci:** anyaman serat jute; las resistensi; kawat nikelin; komposit; sambungan tunggal

### Abstract

[**Title: Single lap-joint Tension strength behavior of woven jute fiber-polypropylene (PP) matrix composites using resistance welding (RW) Method.**] This paper examines the tensile strength of *resistance welding* (RW) joints of jute fibre-based composites *polypropylene* (PP) matrix (JFRP). The RW method using electric current flowing on nikelin wire carried out. The welding process for nikelin wire is varied, based on the diameter size of 0.3 mm and 0.5 mm. This study aims to investigate the strength of join using the RW method according to variations in diameter of the nikelin wire. Here, 5 times each sample tested repetition based on the ASTM D638 standard. Tensile testing was carried out on a *Universal Testing Machine* (UTM) with a *cross-head speed* of 3 mm/min, and a *load cell* of 5 kN. The experiment result shows that the JFRP in single lap bound with nikelin wire 0,5mm diameter has the highest tensile strength compared to nikelin wire 0.3mm diameter are  $213.58^{\pm 0.05}$  MPa dan  $210.34^{\pm 0.05}$  MPa, respectively. Meanwhile, *Young's Modulus* of JFRP single-lap joint by using the nikelin wire 0,3mm diameter has a higher value than 0,5mm diameter of nikelin wire are  $8.16^{\pm 0.05}$  GPa dan  $8.44^{\pm 0.05}$  GPa, respectively. Then, the elongation at break of all JFRP sample have similar values of 4%. The conclusion shows that *resistance weld* is promising enough to bound the *thermoplastic composites*. In addition, the nikelin wire diameter is important to factor that influences the mechanical properties of joints.

---

\*) Penulis korespondensi  
E-mail: arsubmt@unud.ac.id

**Keywords:** composite; nikelin wire; single Lap-joint; woven jute fiber; weld resistance

## 1. Pendahuluan

Penyambungan material menjadi bagian utama dari proses manufaktur, baik untuk bahan logam maupun non-logam. Secara teori, teknik penyambungan konvensional diklasifikasikan menjadi sambungan tetap dan sambungan tidak tetap. Sambungan tetap adalah sambungan yang tidak dapat secara mudah dilepaskan. Sebaliknya, sambungan tidak tetap adalah sambungan yang dapat dibongkar pasang (Broughton et al., 2002). Sambungan tetap meliputi sambungan dengan pengelasan dan perekat (*adhesive*). Sambungan tidak tetap meliputi sambungan baut dan sambungan paku-keling (*rivet*) (Ahire and Kachave, 2017; Ibrahim and Cronin, 2022). Berdasarkan konstruksi, sambungan diklasifikasikan menjadi sambungan tumpuk (tumpuk tunggal dan ganda), dan sambungan insut (Mucha and Witkowski, 2017). Sambungan konvensional dengan paku keling pada struktur sangat dipengaruhi oleh faktor kekuatan pengencangan dan kekuatan tubular dari keling serta sifat bahan tersambung (Mucha and Witkowski, 2015).

Senguttuvan dan Lillymercy (2015) melakukan eksperimen untuk menginvestigasi kekuatan dan mode kegagalan utama dalam sambungan tumpukan tunggal dari material komposit *polymer* dengan penguat serat *glass* pada sambungan keling, perekat, dan baut. Yee dan Ahmad (2016) menginvestigasi pengaruh rasio lebar dengan diameter ( $W/d$ ) dari sambungan tunggal komposit serat alami (*knaf*) terhadap sifat mekanik. Distribusi tegangan karena pembebanan tarik pada sambungan tunggal material komposit menggunakan perangkat lunak *ANSYS-FEA* telah dipelajari oleh Hariharan dan Amutheesan (2017). Solmaz dkk. (2017) telah menguji kekuatan tarik dari sambungan dengan tumpukan ganda menggunakan perekat. Rajmohan dkk., (2016) memaparkan bahwa kekuatan tarik sambungan tunggal komposit *glass fiber reinforced polymer* (GFRP) yang difabrikasi melalui proses *hand lay-up* didapatkan tegangan 47.41 MPa dan *Young's Modulus* 14.3 GPa. Srinivasan dkk. (2018) menjelaskan bahwa sisa bahan perekat (*residu adhesive*) tidak berdampak terhadap sifat mekanis sambungan. Dari semua hasil penelitian yang dilakukan sebelumnya, kegagalan disebabkan oleh faktor bahan pembentuk komposit dan adanya *initial crack* yang ditimbulkan pada proses awal penyambungan menjadi kelemahan dari sambungan material komposit tipis (da Costa et al., 2012).

Saat ini, teknik penyambungan dengan memanfaatkan energi listrik (pengelasan) untuk bahan berbasis *thermoplastic* dan komposit telah dikembangkan (Feng et al., 2018; K Srivastava and Sharma, 2017). Namun, metode RW terbatas pada komposit dengan matrik termoplastik, karena sifat elastik yang mudah mencair dan mudah bentuk. Penyambungan komposit plastik dengan temperatur tergantung pada; teknik

pengelasan, suhu pengelasan, kecepatan pengelasan, dan persyaratan peralatan (Fiebig and Schoeppner, 2016; Haque and Siddiqui, 2016; Kushwah, 2019; Liu and Cheng, 2010).

*Resistance Welding (RW)* adalah teknik yang mulai secara luas diaplikasikan dalam penyambungan komposit *thermoplastic* (Haque and Siddiqui, 2016; Kushwah, 2019; Liu and Cheng, 2010). Keuntungan dari pengelasan ini adalah: (1) baik pada isolasi panas; (2) waktu pengelasan yang pendek, dan (3) memiliki nilai kualitas pengelasan yang baik. Kajian dalam penelitian untuk penyambungan komposit dengan menggunakan pelat panas telah dilakukan oleh Yeni et al. (2014) yang didasarkan pada empat parameter dalam penyambungan komposit polimer, *poliamida 6* (PA6) dengan penguat serat kaca 15 %wt (PA6 GF15). Penelitian dengan metode pengelasan material komposit juga dilakukan oleh Ferreira dkk., 2005; Fiebig dan Schoeppner, 2016; K Srivastava dan Sharma, 2017; serta Stavrov dan Bersee, 2005). Dijelaskan pada penelitian sebelumnya bahwa RW cukup efektif untuk dipergunakan dalam penyambungan material komposit *polypropylene (PP)* (Stavrov and Bersee, 2005). Akan tetapi, pada penggunaan RW dengan permukaan yang luas terjadi pemanasan yang tidak merata karena efek tepi dan variasi resistivitas elemen pemanas. Disamping itu karena temperatur yang tidak merata terjadi pelepasan matrik dari serat penguat. Atas dasar tersebut menjadi menarik untuk diteliti dan belum banyak penelitian dilakukan menggunakan metode ini.

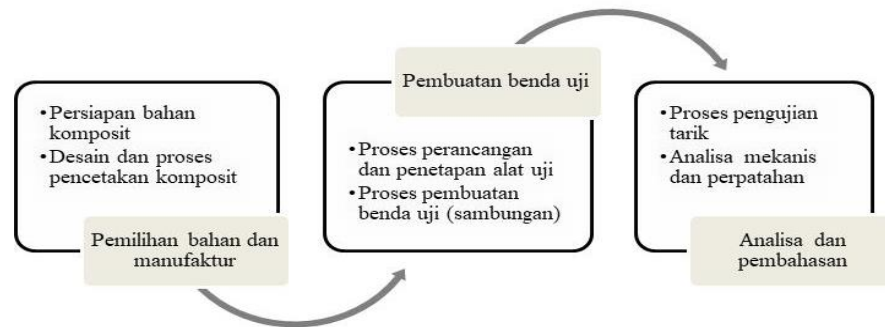
Kawat nikelin digunakan sebagai pemanas dari metode RW, pada proses penyambungan komposit dengan pada penelitian ini. Tujuan penelitian untuk menginvestigasi sifat mekanik sambungan RW dengan kawat nikelin sebagai pemanas. Ukuran diameter kawat nikelin adalah berukuran 0,3 mm dan 0,5 mm. Pengujian tarik dilakukan pada *Universal Testing Machine (UTM)* dengan kecepatan 3 mm/min, dan *load-cell* sebesar 5kN, dengan pengulangan sebanyak 5 kali untuk setiap sampel (ASTM D638, 2006). Patahan hasil uji tarik sambungan diamati pada *photo microscope* dan *Scanning Electron Microscope (SEM)*.

## 2. Metode dan Bahan

### 2.1 Metode Penelitian

Metode eksperimen telah diaplikasikan dalam upaya untuk menjawab permasalahan pada Penelitian ini. Laboratorium rekayasa bahan telah menjadi tempat penerapan metode dan pengujian sample. Gambar 1 menunjukkan diagram tahapan penelitian secara terstruktur. Adapun tahapan kegiatan terbagi menjadi 3 tahap yaitu; pemilihan bahan dan manufaktur, pembuatan benda uji (sample), analisa dan pembahasan.

Target dari hasil pengujian adalah sifat mekanis sambungan yang meliputi tegangan tarik sambungan, defleksi dan *modulus of elasticity*. Standar uji



Gambar 1. Tahapan penelitian

dipergunakan ASTM D638, 2006. Selanjutnya, data hasil pengujian tarik berupa beban dan regangan dianalisa menggunakan persamaan tegangan seperti ditampilkan pada persamaan 1.

$$\sigma = \frac{W}{A} \tag{1}$$

Perhitungan persentase *reduction* penampang dari benda kerja dinyatakan dengan Persamaan 2.

$$\left[ \frac{(A_0 - A_T)}{A_0} \right] \times 100\% \tag{2}$$

Regangan tarik (*tensile strain*) merupakan kemampuan mulur dari bahan dengan pembebanan tarik terhadap panjang awal benda kerja, sebagaimana Persamaan 3.

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{(L - L_0)}{L_0} = \varepsilon \tag{3}$$

*Modulus of Elastisitas* merupakan rasio tegangan (nominal) terhadap regangan yang sesuai di bawah batas proporsional suatu bahan. Nilai itu dinyatakan dalam gaya per satuan luas, *mega-pascal [pound-force per square inch]*. Pernyataan ini ditampilkan dalam persamaan 4.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \tag{4}$$

dengan E = *Modulus of Elastisitas*,  $\varepsilon$  = *tensile strain*,  $\sigma$  adalah *tensile strength*,  $L_0$  = Jarak asli antara tanda pengukur,  $\Delta L$  = Peningkatan jarak antara tanda pengukur, L = Jarak antara tanda pengukur setiap saat, W = Beban

Tabel 1 Sifat serat jute dan PP (Mohammed et al., 2015)

Karakteristik	Serat Jute	(PP)
Density (g/cm <sup>3</sup> )	1,3-1,49	1.04-1,06
Tensile strength (MPa)	393-800	33
Young's Modulus (GPa)	13-26,5	1,5-3
Elongation at break (%)	1,16-1,5	1,5
Melting point (°C)	-	160-168
Cellulose (%)	64,4	-
Hemi-cellulose (%)	12	-
Lignin (%)	11,8	-
Pectin (%)	0,2	-
Waxes (%)	0,5	-
Diameter of fiber (µm)	5-25	-

Tarik, A = Luas penampang minimum setiap saat,  $A_0$  = Luas penampang asli.

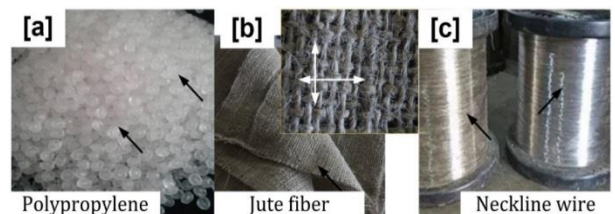
Gambar 1 menampilkan diagram tahapan penelitian sifat mekanik dari sambungan dengan teknik RW ditampilkan seperti pada gambar tiga tahapan utama meliputi pemilihan bahan dan proses manufaktur dari benda kerja dalam hal ini berupa plat komposit *Jute Fiber Reinforced Plastics (JFRP)*. Kemudian dilanjutkan pada tahap pembuatan benda kerja, dan diakhiri dengan tahap analisa dan pembahasan data hasil pengujian tarik sambungan.

2.2 Bahan komposit

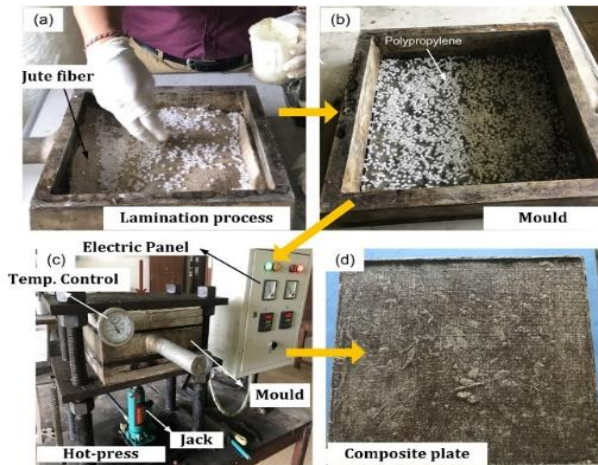
Gambar 2 a, b dan c menampilkan bahan utama dari komposit JFRP. Serat jute (*Corchorus Olitorius*) dengan pola anyaman sederhana (*plain woven fabric*) dipergunakan sebagai penguat (Gambar 2b). Polimer plastik yaitu PP dipilih untuk matrik (Gambar 1a). Kawat Nikelin dengan diameter 0.3mm dan 0.5mm dipergunakan sebagai bahan pengantar panas dalam proses pengelasan. Tabel 1 menampilkan karakteristik dari bahan penguat dan matrik.

2.2 Proses pencetakan Komposit

Gambar 3 menunjukkan tahap proses pembentukan benda kerja dan proses penyambungan komposit JFRP dengan menggunakan kawat nikelin. Proses pembuatan benda akerja dimulai dari proses laminasi antara serat jute dan PP seperti tunjukan pada Gambar 3a. Ukuran cetakan adalah 40 x 40 mm. Pada proses ini PP ditaburkan pada permukaan serat sebanyak 3 lapisan serat (Gambar 3b). Komposisi serat dan PP didasarkan pada fraksi berat (% wt). Selanjutnya, cetakan *Aluminium* yang berisi lapisan serat dan PP diletakan



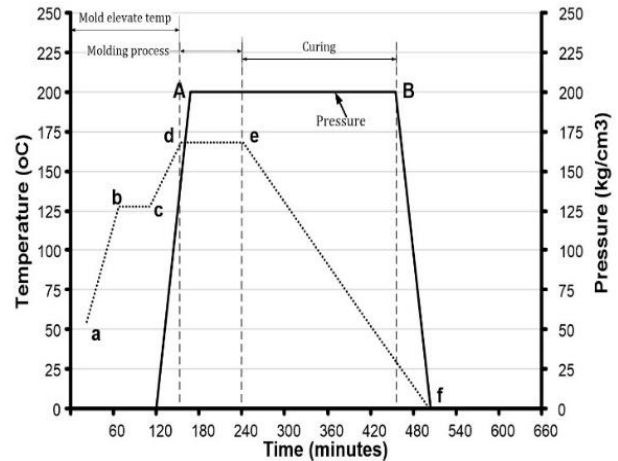
Gambar 2. a). PP, b) Serat jute tenun c) Kawat Nikelin



**Gambar 3.** a) Proses laminasi serat, b) orientasi laminasi, c) Mesin pemanas, d) komposit hasil cetakan

pada cetakan *hot-press* dengan temperatur kerja 200°C (Gambar 3c). Pada proses pencetakan penekanan diberikan beban 200 kg/cm<sup>3</sup> menggunakan *hydraulic jack*, sehingga ketebalan 3 mm dari benda kerja yang seragam diperoleh.

Gambar 4 menunjukkan grafik hubungan suhu dan tekanan pada proses pembuatan komposit JFRP. Garis putus-putus dari 4a hingga 4f mengidentifikasi kenaikan temperatur dari cetakan untuk setiap waktu. Titik (a), temperatur awal cetakan yang naik hingga titik (b) yaitu dari temperatur awal 50°C hingga 125°C. Proses kenaikan temperatur dari (a) ke (b) terjadi dalam waktu sekitar 45 menit. Setelah titik (b) tidak terjadi kenaikan temperatur seperti ditunjukkan oleh garis (b) ke (c) dalam waktu 60 menit. Kemudian temperatur dinaikkan kembali hingga temperatur cetak 170°C seperti ditunjukkan pada titik (c) ke (d) yang berlangsung selama 120 menit. Pada

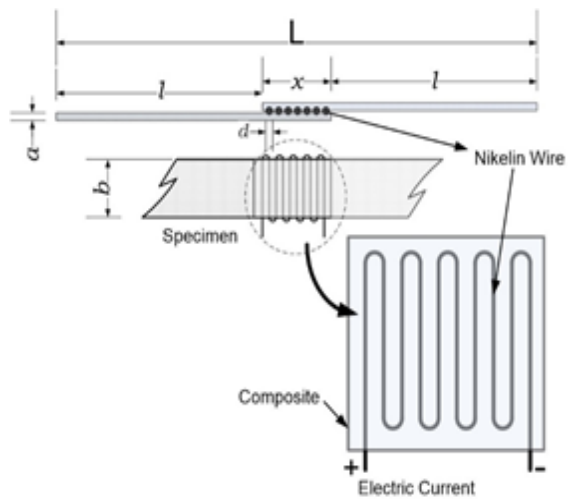
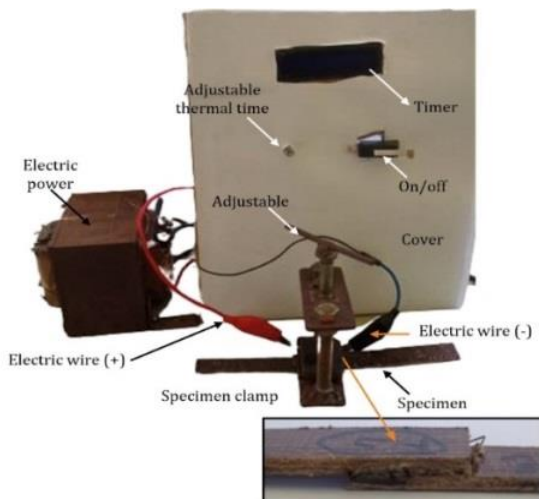


**Gambar 4.** Grafik hubungan kenaikan suhu, tekanan dan waktu dalam proses cetakan

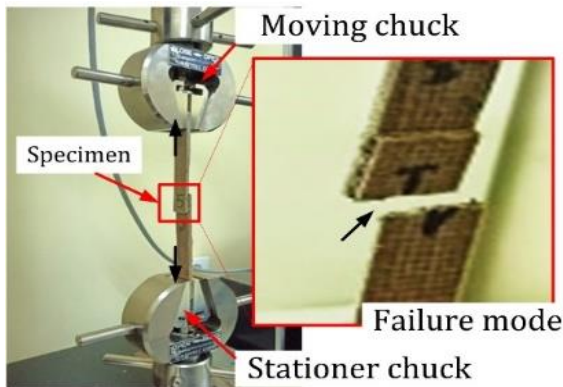
temperatur ini cetakan diposisikan pada mesin press, dan ditekan pada tekanan 200 kg/cm<sup>3</sup> konstan selama 2 jam yaitu dari (d) ke (e). Grafik penekanan ditampilkan pada titik A hingga titik B. Setelah itu, dilanjutkan dengan proses pendinginan hasil cetakan, yang dimulai pada waktu ke 240 menit. Proses pendinginan ditunjukkan dari titik e menuju titik (f) dalam waktu kurang lebih 480 menit. Selanjutnya, benda uji komposit JFRP dengan geometri seperti inset pada Gambar 5 dibuat menggunakan alat potong *diamond cutter*.

**2.3 Proses penyambungan**

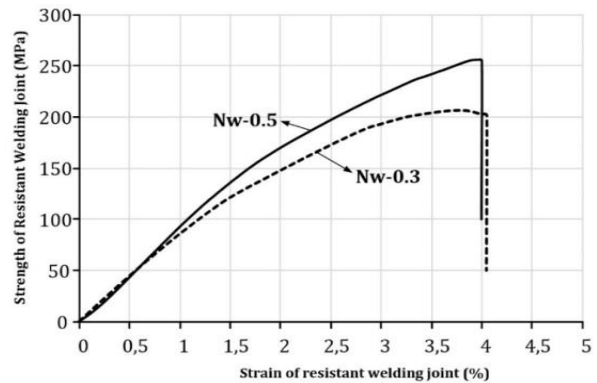
Gambar 5 menunjukkan perangkat keras untuk penyambungan dengan RW. Sedangkan inset pada Gambar 5 menunjukkan geometri dari benda uji dan kedudukan dari kawat nikelin. Secara teknis penyambungan menggunakan RW adalah tergantung dari energi panas yang dihasilkan dari pengaturan arus, dan tahanan,



**Gambar 5.** Alat pengelasan *resistance welding* (RW) (inset: geometri dan skematik kedudukan kawat nikelin)



**Gambar 6.** Proses uji tarik sambungan tunggal komposit JFRP menggunakan metode WR



**Gambar 7.** Grafik stress-strain uji tarik sambungan tunggal komposit JFRP dengan metode RW

serta penekanan ang konstan ketika suhu cair (*melting temperatures*) tercapai.

Alat las, terdiri dari komponen – komponen trafo sebagai sumber listrik, Alat ukur dan monitor yang berfungsi untuk menunjukkan temperatur yang mengalir pada kawat. Komponen lainnya adalah penjepit. Kedudukan dari kawat nikelin sebagai pengantar panas ditampilkan pada Gambar 5 (inset). Hambatan jenis dari kawat nikelin adalah sebesar  $0,42 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ . Kemudian arus yang dialirkan adalah sebesar 5A dengan beda potensial dari kedua ujung adalah 12 volt, serta tahanan dari masing-masing kawat adalah 6 Ohm, dengan lama waktu pemanas yang digunakan selama 20 detik.

**2.4 Pengujian Tarik**

Gambar 6 menunjukkan proses pengujian tarik dari masing – masing sambungan. UTM telah digunakan dengan *Loads cell* 5kN dan *cross-head speed* konstan 3 (mm/min) telah diterapkan dalam pengujian untuk menentukan tegangan, regangan dan *Young's Modulus* pada sambungan menggunakan RW. Benda uji adalah sambungan tunggal dengan 160mm x 15mm. Dimensi sambungan 20mm x 15mm seperti pada Gambar 5.

**3. Hasil dan pembahasan**

Pengelasan RW telah dianggap sebagai teknik penyambungan yang sangat menjanjikan untuk aplikasi pada bidang rekayasa kendaraan dan kedirgantaraan (da Costa et al., 2012; Haque and Siddiqui, 2016; K Srivastava and Sharma, 2017) proses pengelasan ini juga dapat dilakukan di bawah beban konstan dengan koneksi

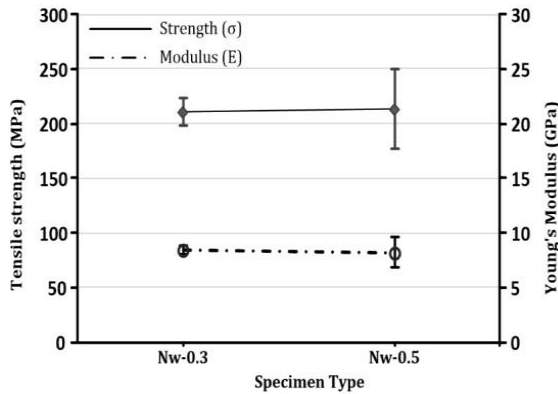
listrik antara elemen pemanas dan sirkuit daya menjadi hal utama dari proses RW.

Gambar 7 merupakan hubungan antara tegangan-regangan tarik dari sambungan RW komposit PP berbasis penguat serat jute. Pada grafik diamati bahwa penyambungan dengan RW menggunakan kawat nikelin berdiameter 0,3 mm (Nw-0,3) dan 0,5 mm (Nw-0,5) memiliki *trend* kenaikan tegangan dan regangan yang relative sama. Akan tetapi karena pengaruh diameter kawat pengantar memunculkan perbedaan untuk tegangan tarik sebesar 4%. Beberapa hasil penelitian menjelaskan bahwa semakin besar diameter kawat tegangan tarik lebih besar, karena perekatan yang terjadi lebih luas (Junno et al., 2005; Zhigang et al., 2006). Semakin besar luas penampang suatu penghantar, maka akan semakin kecil nilai hambatan penghantar (Shi et al., 2011). Pada penelitian ini dihasilkan untuk kawat nikelin dengan diameter 0,5 mm memiliki hambatan yang kecil, dibandingkan dengan diameter kawat nikelin 0,3 mm. Panas yang dihasilkan kawat nikelin 0,5 mm untuk melelehkan polimer lebih besar, sehingga lelehan polimer merata dibandingkan dengan kawat nikelin ukuran 0,3 mm. Berkaitan dengan tegangan sambungan yang dihasilkan, pada diameter kawat nikelin 0,5 mm lelehan yang dihasilkan lebih luas dan merata sehingga perekatan terjadi dengan baik dibandingkan dengan kawat nikelin ukuran 0,3 mm.

Tabel 2 menampilkan hasil pengujian tarik sambungan JFRP menggunakan metode RW. Pada table diamati bahwa diameter kawat nikelin berpengaruh pada tegangan tarik dan regangan tarik. Namun, diperoleh *Modulus of Elasticities* tidak terjadi perubahan yang signifikan. Hasil yang relative sama juga ditampilkan Penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan potensi dari pengelasan pada material komposit seperti dilakukan oleh Hariharan dan Amutheesan (2017), Rajmohan dkk. (2016); Senguttuvan dan Lillymercy (2015) dinyatakan bahwa telah terjadi peningkatan hasil, dan propertis

**Table 2.** Sifat uji tarik pengelasan RW

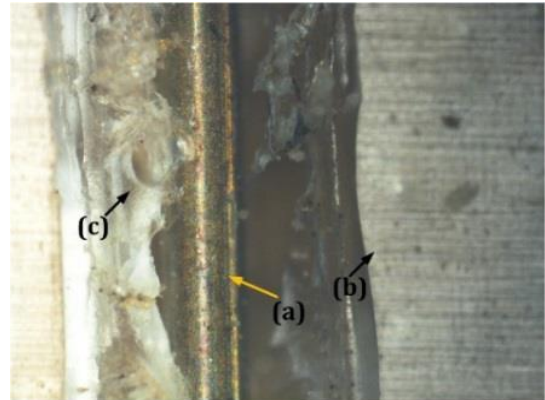
Sampel	Tegangan Tarik (MPa)	Regangan Tarik (%)	Modulus Young (GPa)
Nw-0.3	210.34±0.05	3.52±0.05	8.44±0.05
Nw-0.5	213.58±0.05	4.12±0.05	8.16±0.05



Gambar 8. Sifat kekuatan dan *Young's modulus*

sebesar 27% pada penyambungan menggunakan *hotplate welding* (Liu and Cheng, 2010; Yeni et al., 2014).

Gambar 8 menunjukkan hubungan sifat mekanik sambungan RW dari bahan komposit PP dengan penguat serat jute. Pada grafik terlihat untuk tegangan tarik pada



Gambar 9. Kawat Nikelin pada komposit JFRP

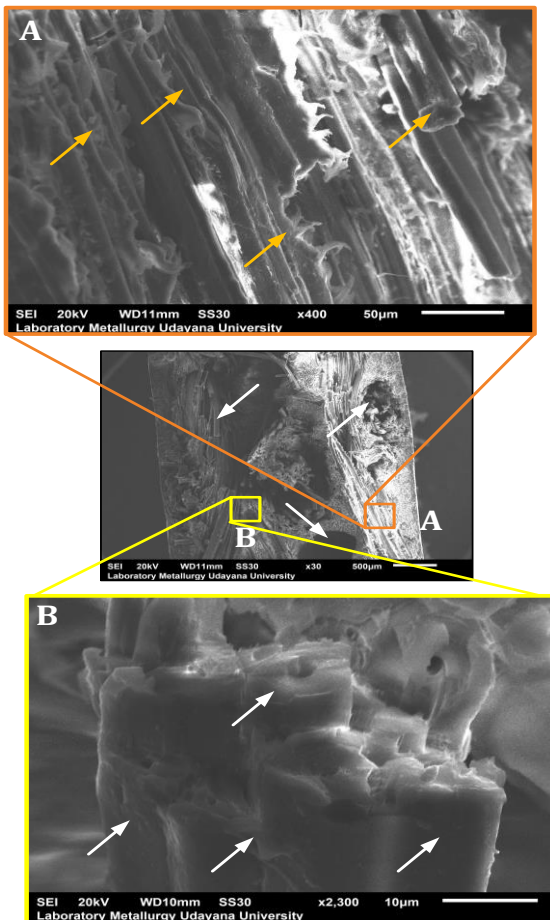
sambungan dengan diameter kawat 0,5 mm lebih tinggi dari pada sambungan dengan diameter kawat 0,3 mm. Perbedaan tegangan antara sambungan kawat 0,5 mm dan 0,3 mm adalah sebesar 8%. Kemudian, *Young's Modulus* antara sambungan Nw-0,5 dan Nw-0,3 adalah relative sama sebesar  $8,2^{±0.01}$  GPa.

Pengujian tarik merupakan teknik pengujian *destructive test*, yaitu benda kerja mengalami kerusakan setelah pengujian. Patahan pada benda kerja ditargetkan terjadi di daerah sambungan. Gambar 9a hingga c menunjukkan bentuk pelelehan dari PP selama proses pengelasan dilakukan, dimana PP mencair pada suhu panas yang dihasilkan oleh aliran energy listrik pada kawat nikelin. Teramati pada gambar 9a adalah kawat nikelin yang dipasangkan, 9b daerah sambungan dimana karena pemanasan terjadi pelelehan pada matrik yang ditunjukkan dengan huruf 9c. Sedangkan untuk serat dari komposit terbakar seperti warna gelap yang ditunjukkan pada gambar.

Gambar 10 menampilkan hasil pengamatan SEM. Pada gambar teramati untuk inset A patahan matrik dan serat di daerah yang terkena panas oleh kawat nikelin. Terlihat pada pembesaran 30x dengan *magnification* 500µm terjadi *pull-out* serat pada arah *horisontal* dengan matrik yang patah menyerupai gigi gergaji. Pahan ini menunjukkan karena pengaruh panas telah merubah struktur PP dan saat penarikan terjadi tegangan geser yang relative besar (ditunjukkan dengan panah berwarna kuning). Inset point B menunjukkan bentuk patahan serat jute setelah pembebanan tarik dengan ikatan matrik PP.

4. Kesimpulan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada diameter kawat nikelin yang lebih besar, tegangan tarik sambungan tunggal komposit JFRP lebih besar dibandingkan dengan sambungan RW dengan diameter kawat nikelin yang lebih kecil. Sementara, untuk regangan tarik dari masing-masing benda uji adalah relative sama yaitu sebesar 4%, dan patahan terjadi diluar



Gambar 10 analisis SEM patahan sambungan WR pada komposit JFRP

sambungan menandakan bahwa sambungan RW cukup efektif dalam fungsinya. Disamping itu, juga disimpulkan bahwa diameter kawat berpengaruh pada hambatan listrik, dan berpengaruh pada pelelehan matrik PP, disebabkan kawat menghasilkan panas yang lebih tinggi dari kawat dengan diameter kecil. Disimpulkan bahwa penyambungan dengan RW pada komposit JFRP cukup menjajikan dan potensi sebagai alternatif proses penyambungan komposit JFRP ditinjau dari kekuatan dan perekatan yang dihasilkan.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Tim peneliti di Laboratorium Rekayasa Material dan Pusat Penelitian Teknologi dan Material LPPM – UNUD yang telah memfasilitas penelitian ini.

#### Daftar Pustaka

- Ahire, Bhupendra S., and Prof. Sharad D. Kachave. (2017). Comparison of Riveted, Bonded & Hybrid Joints Using FEA. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology (IARJSET)*, 4(1):25–30.
- ASTM D638. (2006). *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*.
- Broughton, W. R., L. E. Crocker, and M. R. L. Gower. (2002). Design Requirements for Bonded and Bolted Composite Structures. *NPL Report MATC(A)65*, 46.
- da Costa, Anahi Pereira, Edson Cocchieri Botelho, Michelle Leali Costa, Nilson Eiji Narita, and José Ricardo Tarpani. (2012). A Review of Welding Technologies for Thermoplastic Composites in Aerospace Applications. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 4(3):255–65.
- Feng, Ng Lin, Sivakumar Dhar Malingham, and Siva Irulappasamy. (2018). *Bolted Joint Behavior of Hybrid Composites*. Elsevier Ltd.
- Ferreira, J. M., H. Silva, J. D. Costa, and M. Richardson. (2005). Stress Analysis of Lap Joints Involving Natural Fibre Reinforced Interface Layers. *Composites Part B: Engineering*, 36(1):1–7.
- Fiebig, Isabel, and Volker Schoeppner. (2016). Influence of the Initial Fiber Orientation on the Weld Strength in Welding of Glass Fiber Reinforced Thermoplastics. *International Journal of Polymer Science*, 2016.
- Haque, Md Shaquibul, and Mohd. Anees Siddiqui. (2016). Plastic Welding: Important Facts and Developments. *American Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 1(2):15–19.
- Hariharan E, and Amutheesan R. (2017). Testing and Analysis of Composite Materials Under Tensile Loading With Different Lap Joints. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 6(10):126–34.
- Ibrahim, Ahmed Hanafy, and Duane S. Cronin. (2022). Mechanical Testing of Adhesive, Self-Piercing Rivet, and Hybrid Jointed Aluminum under Tension Loading. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 113:103066.
- Junno, H., P. Laurinen, E. Haapalainen, L. Tuovinen, and J. Röning. (2005). Resistance Spot Welding Process Identification Using an Extended Knn Method. Pp. 7–12 in *Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2005. ISIE 2005*. Vol. I.
- K Srivastava, Ashok, and Ashutosh Sharma. (2017). Advances in Joining and Welding Technologies for Automotive and Electronic Applications. *American Journal of Materials Engineering and Technology*, 5(1):7–13.
- Kushwah, Pushpendra. (2019). Plastic Welding Technique. *International Journal For Technological Research In Engineering*, 7(3):6199–6200.
- Liu, Shih Jung, and Hsin Fu Cheng. (2010). The Influence of Interface Geometry on the Joint Strengths of Hot Plate Welded Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(4):497–509.
- Mohammed, Layth, M. N. M. Ansari, Grace Pua, Mohammad Jawaid, and M. Saiful Islam. (2015). A Review on Natural Fiber Reinforced Polymer Composite and Its Applications. *International Journal of Polymer Science*, 2015:1–15.
- Mucha, Jacek, and Waldemar Witkowski. (2015). The Structure of the Strength of Riveted Joints Determined in the Lap Joint Tensile Shear Test. *Acta Mechanica et Automatica*, 9(1):44–49.
- Mucha, Jacek, and Waldemar Witkowski. (2017). Analysis of the Thermomechanical Load Impact on the Riveted Joint Strength. *Mechanik NR*, 90(2):148–50.
- Rajmohan, M., M. Balachandar, and D. Kasinathan. (2016). Analysis of Lap Joints in Composite Materials. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(48):3–6.
- Senguttuvan, N., and J. Lillymercy. (2015). Joint Strength Analysis of Single Lap Joint in Glass Fiber Composite Material. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(7):16535–45.
- Shi, H., I. Fernandez-Villegas, and H. E. N. Bersee. (2011). Modelling of Heat Transfer and Consolidation for Thermoplastic Composites Resistance Welding. Pp. 1–6 in *18th International Conference on Composites Materials*.
- Solmaz, M. Yavuz, İbrahim Kocabas, and Mustafa GÜR. (2017). Effect of Riveting on the Joint Strength of Adhesively Bonded Double Lap Joints. *Anadolu*

- University Journal of Science and Tehcnology A - Applied Sciences and Engineering*, 19(1):1–9.
- Srinivasan, Dharun Vadugappatty, Atin Aggarwal, I. Sridhar, and Charle Ng. (2018). Effect of Residual Epoxy on Single Lap Joints Performance. *Journal of Adhesion*, 96(10):883–901.
- Stavrov, D., and H. E. N. Bersee. (2005). Resistance Welding of Thermoplastic Composites-an Overview. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 36(1):39–54.
- Yee, Lee Sim, and Hilton Ahmad. (2016). Experimental Strength of Single-Lap Hybrid Joints on Woven Fabric Kenaf Fiber Composites under Quasi Static Condition. *MATEC Web of Conferences*, 47:0–5.
- Yeni, Çınar, Aydın Ülker, Sami Sayer, Uğur Özdemir, and Umut Kocatüfek. (2014). Optimization of Hot Plate Welding Parameters of Glass Fibered Reinforced Polyamide 6 (PA6 GF15) Composite Material by Taguchi Method. *Usak University Journal of Material Sciences*, 3(1):69–69.
- Zhigang, H., I. S. Kim, J. S. Son, H. H. Kim, J. H. Seo, and K. C. Jang. (2006). A Study on Numerical Analysis of the Resistance Spot Welding Process. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 14(1):140–45.